

PENDUGAAN *RELIABILITY* WADUK NADRA KRENCENG PT. KRAKATAU TIRTA INDUSTRI

(Reliability Prediction of Nadra Krenceng Reservoir in PT. Krakatau Tirta Industri)

Yanuar Chandra Wirasembada¹, Satyanto K. Saptomo², M. Budi Saputra³

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

³ Divisi Operasi, Dinas Air Baku PT. Krakatau Tirta Industri

Penulis korespondensi : Yanuar Chandra W. Email: yanuarchandraw@gmail.com

Diterima: 19 November 2015

Disetujui: 14 Januari 2016

ABSTRACT

The increasing of high population rate, plus there was a new steel industry named PT. Krakatau Posco in Cilegon has made higher demand of clean and raw water. The Volume of Nadra Krenceng reservoir used by PT. Krakatau Tirta Industri is still doubted to fulfill water demand in Cilegon. The purpose of this research to analyze how much the reservoir volume capacity that will always be available and makes the program with Visual Basic Application in Microsoft Excel. The reliability calculation of Nadra Krenceng reservoir was conducted using three methods; F.J Mock, NRECA dependable discharge, and simulation the result of both methods use Weibull Method. The simulation result of Weibull Method shows for F.J Mock dependable discharge with probability of 95%, 90%, 80% and 50% are 5,023,095 m³; 5,733,905 m³; 7,215,525 m³; and 11,600,385 m³ respectively. For NRECA Method simulation, the result with the same series probabilities are 3,831,718 m³; 4,531,326 m³; 5,930,542 m³; and 10,128,191 m³ respectively. The Probabilities used by PT. KTI to guarantee the water availability in Nadra Krenceng reservoir is 80%. To conclude, the available volume of Nadra Krenceng reservoir now 7,215,525 m³ for F.J Mock Method and 5,930,542 m³ for NRECA Method. Both of calculation of water availability of Nadra Krenceng reservoir could achieve good enough accuracy. The R² values for F.J Mock Methods is 0.685 and 0.653 for NRECA method.

Key words: dependable charge, F.J Mock, NRECA, reliability, water availability

PENDAHULUAN

Air adalah sumber daya alam utama yang penting bagi keberlangsungan hidup manusia. Masalah kekurangan kuantitas maupun kualitas air dapat menimbulkan dampak pada kegiatan manusia. Untuk mempertahankan kuantitas air, perlu adanya bangunan penahan atau penampung air. Bangunan penampung air yang paling sering digunakan di Indonesia adalah waduk. Waduk dibangun untuk menampung air pada periode kelebihan air (musim penghujan) dan dipakai pada waktu kekurangan air (musim kemarau) untuk berbagai kepentingan, seperti air minum, pariwisata, pengendalian banjir, pertanian, dan lain-lain.

Waduk Nadra Krenceng merupakan waduk buatan milik PT. Krakatau Tirta Industri (PT. KTI) yang selesai dibangun pada tahun 1977. Sumber air waduk ini berasal dari sungai-sungai kecil yang ada di DAS Krenceng, DAS Taman Baru dan Sungai Cidanau. Air baku yang digunakan oleh ratusan perusahaan, pabrik dan masyarakat di Cilegon serta sebagian kota Serang berasal dari Waduk Krenceng. Waduk Krenceng mempunyai peran yang sangat penting untuk kelangsungan operasional PT. Krakatau Tirta Industri.

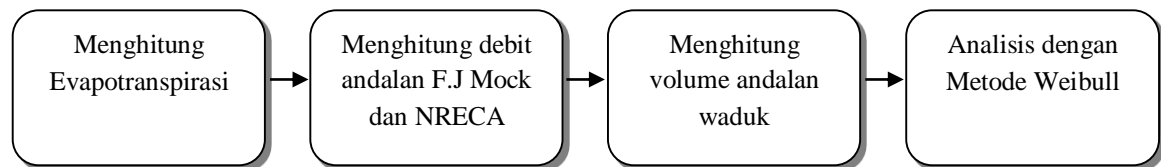
Cilegon sebagai pusat industri di Provinsi Banten mengakibatkan laju pertumbuhan penduduk di kota ini semakin tinggi. Adanya proyek besar pembangunan pabrik baja PT. Krakatau Posco diprediksi

akan semakin menarik para pendatang untuk bermukim di kota Cilegon. Hal ini tentu berimbas pada kebutuhan air bersih dan air baku kota Cilegon semakin tinggi.

Untuk mengatasi masalah tersebut, Waduk Nadra Krenceng yang semula mempunyai volume sebesar ± 3 juta m^3 kini sudah dikeruk dan sekarang mempunyai volume ± 5 juta m^3 . Volume waduk yang sekarang dikhawatirkan masih belum mampu memenuhi kebutuhan air Kota Cilegon untuk kebutuhan masyarakat dan kebutuhan industri.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini lebih menitikberatkan pada analisis data sekunder yang dimiliki oleh PT. Krakatau Tirta Industri. Data sekunder yang dibutuhkan antara lain data curah hujan, temperatur, kecepatan angin, penyinaran matahari, dan kelembapan relatif. Secara garis besar, alur prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur prosedur penelitian reliabilitas Waduk Nadra Krenceng

Perhitungan evapotranspirasi pada penelitian ini menggunakan empat metode perhitungan. Keempat metode tersebut yaitu Metode Evapotranspirasi I (Penmann), Metode Evapotranspirasi II (Penmann), Metode Evapotranspirasi III (Penmann-Modifikasi) dan Metode Thornthwaithe. Metode Evapotranspirasi I merupakan metode menghitung evapotranspirasi yang bersumber dari Triatmodjo (2008). Metode Evapotranspirasi II dan III merupakan rumus evapotranspirasi yang sering digunakan oleh PT. KTI. Kedua metode tersebut berasal dari Dinas Pekerjaan Umum.

Keempat hasil perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan data evapotranspirasi potensial yang berasal dari *Automatic Weather Station* (AWS) milik PT. KTI untuk kalibrasi. Dari keempat hasil tersebut, kemudian dipilih salah satu metode yang paling mendekati hasil di lapangan. Persamaan dari keempat metode tersebut adalah sebagai berikut.

Persamaan Evapotranspirasi I (Triatmodjo 2008):

$$E_t = \frac{\beta \times E_n + E}{\beta + 1} \quad (1)$$

E_t = evapotranspirasi (mm/hari)
 E_n = kedalaman penguapan (mm/hari)
 β = fungsi temperatur

Persamaan Evapotranspirasi II (Setiawan & Sidabutar 2007):

$$E_t = \frac{\Delta H + 0.27 E_a}{\Delta + 0.27} \quad (2)$$

E_t = evapotranspirasi (mm/hari)
 Δ = slope saturated (mm Hg/ $^{\circ}$ K)

H = koreksi penyinaran matahari
 E_a = koreksi tekanan uap jenuh

Persamaan Evapotranspirasi III (Susilawati 2002):

$$E_t = [(W \times R_n) + \{(1 - W) \times (e_a - e_d) \times f(U)\}] \quad (3)$$

E_t = evapotranspirasi (mm/hari)
 W = faktor pemberat
 R_n = radiasi yang dipancarkan bumi (mm/hari)
 e_a = tekanan uap jenuh (mbar)
 e_d = tekanan uap (mbar)
 $f(U)$ = fungsi angin relatif

Persamaan evapotranspirasi Thornthwaithe (Triatmodjo 2008):

$$E_t = 1.62 \left(\frac{10 T_m}{I} \right)^a \quad (4)$$

E_t = evapotranspirasi

T_m = temperatur rata-rata per bulan

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 492 \times 10^{-3}$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.514}$$

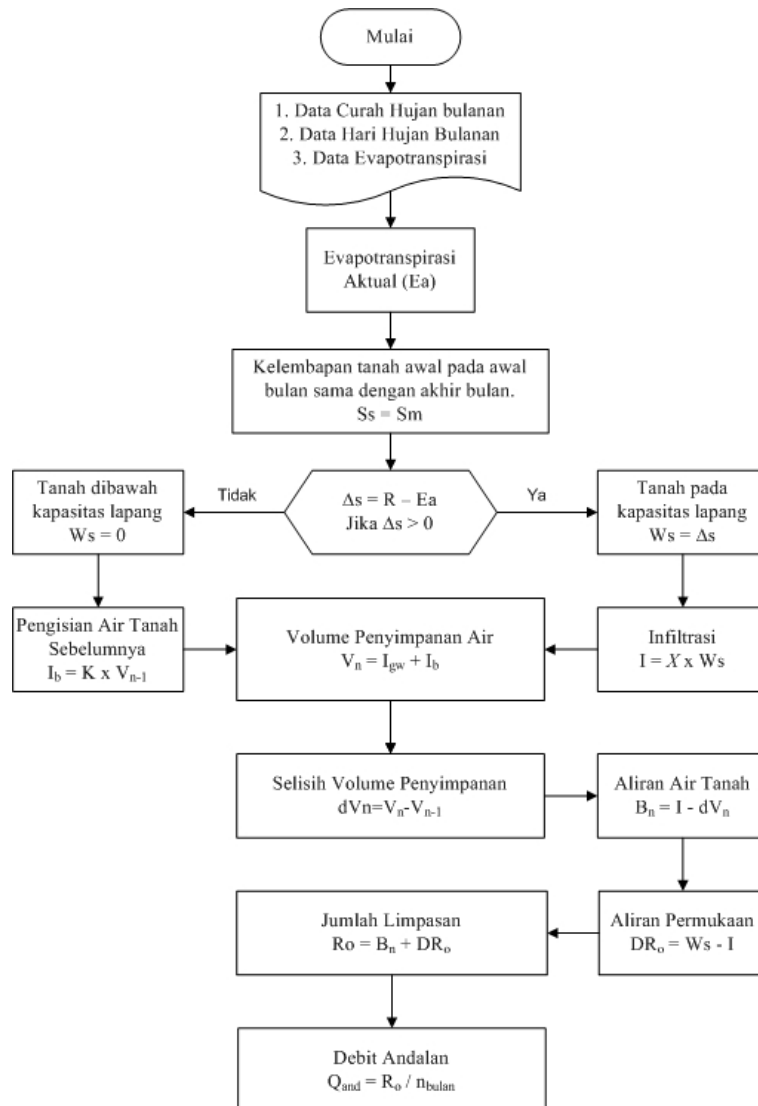
Keempat hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan data evapotranspirasi di lapangan. Beda nilai antara hasil perhitungan dan pengukuran di lapangan disebut selisih. Selisih dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Selisih} = \left| \left[\frac{(E_{tl} - E_t)}{E_t} \right] \times 100 \right| \quad (5)$$

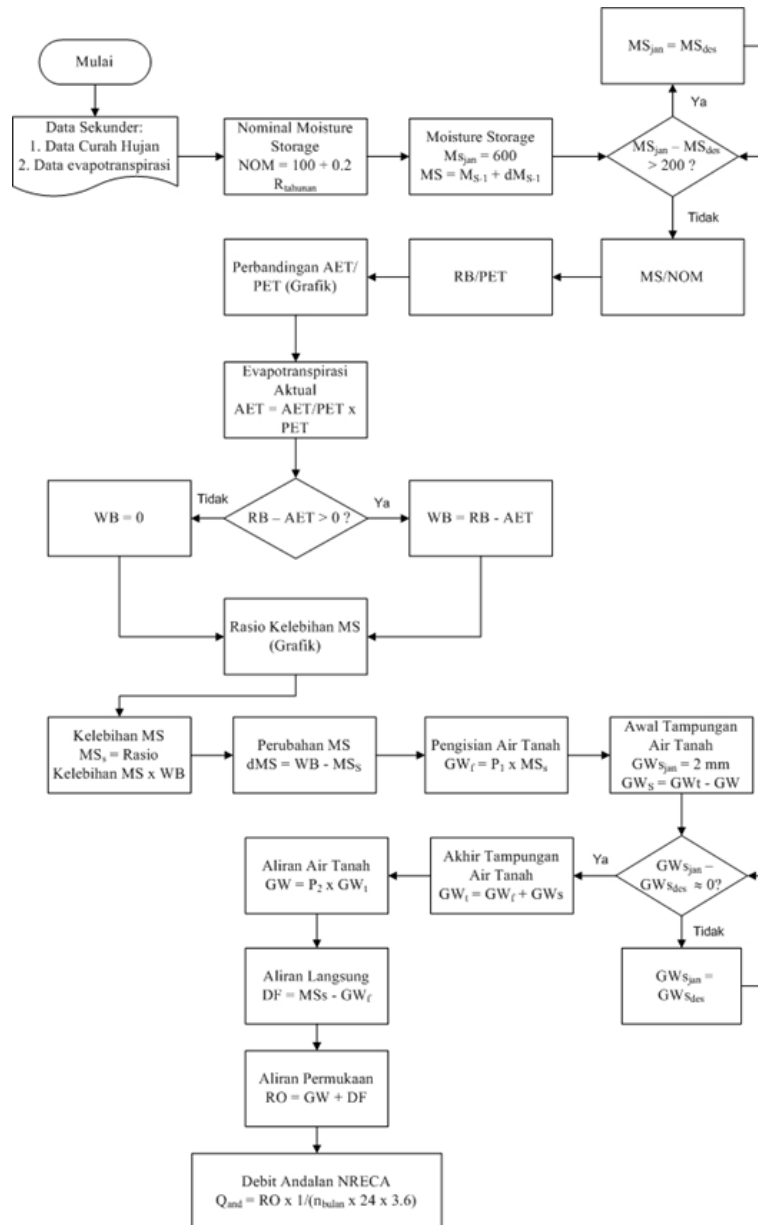
E_{tl} = evapotranspirasi di lapangan

E_t = evapotranspirasi hasil perhitungan

Setelah didapatkan nilai evapotranspirasi yang cocok dengan DAS Waduk Krenceng, langkah berikutnya yaitu menghitung debit andalan F.J Mock dan NRECA. Alur perhitungan debit andalan F.J Mock dan NRECA dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Data debit andalan tersebut digunakan untuk menghitung volume waduk andalan tersedia. Untuk menghitung volume waduk



Gambar 2. Diagram alir perhitungan debit andalan F.J Mock



Gambar 3. Diagram alir perhitungan debit andalan NRECA

andalan, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$V_{and} = (Q_{and} \times t_{bln}) - Ep - I \quad (6)$$

V_{and} = volume andalan (m^3)
 Q_{and} = debit andalan ($m^3/detik$)
 t_{bln} = waktu dalam sebulan (detik)
 Ep = evaporasi
 I = infiltrasi

Setelah data volume waduk tersedia didapatkan, langkah terakhir yaitu menganalisis keandalan dengan

menggunakan Metode Weibull. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Dirjen ESDM 2009).

$$W = \frac{1}{n} \times 100 \quad (7)$$

W = keandalan Weibull (%)
 n = jumlah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume air yang ada di Waduk Nadra Krenceng dapat dihitung dengan cara menghitung debit andalan yang ada pada

DAS Waduk Nadra Krenceng. Debit andalan F.J Mock dan debit andalan NRECA dapat dihitung apabila mempunyai data evapotranspirasi per bulan selama satu tahun. Data evapotranspirasi penting untuk diketahui karena mempengaruhi ketersediaan air di suatu DAS. Hasil perhitungan evapotranspirasi menggunakan persamaan (1), (2), (3) dan (4) serta hasil pengukuran di lapangan oleh *Automatic Weather Station* (AWS) milik PT. KTI tertera pada Tabel 1.

Hasil lengkap perhitungan error ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Data evapotranspirasi ini kemudian dijadikan input untuk perhitungan debit andalan F.J Mock dan debit andalan NRECA. Untuk perhitungan debit andalan F.J Mock, selain data evapotranspirasi, diperlukan juga data curah hujan bulanan, lama hari hujan per bulan, asumsi infiltrasi, koefisien simpanan tanah dan luas permukaan terbuka. Asumsi infiltrasi yang digunakan dalam perhitungan ini yaitu sebesar 40%. Angka tersebut

Tabel 1. Rekapitulasi hasil perhitungan dan data evapotranspirasi potensial di lapangan

Bulan	Metode Evapotranspirasi I	Metode Evapotranspirasi II	Metode Evapotranspirasi III	Thornthwaite	Lapangan
	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi
	Et	Et	Et	Et	Et
	mm/bulan	mm/bulan	mm/bulan	mm/bulan	mm/bulan
Januari	111.01	92.90	110.25	148.51	83.80
Februari	101.74	85.48	104.65	129.15	85.09
Maret	121.00	106.66	124.75	156.82	104.90
April	116.71	91.50	123.97	157.04	90.05
Mei	108.84	99.15	117.18	164.10	83.62
Juni	99.46	89.27	106.09	147.69	72.01
Juli	109.37	99.76	119.06	151.05	73.68
Agustus	121.09	110.12	132.16	159.29	94.45
September	131.11	120.35	144.50	167.75	99.57
Oktober	134.17	120.47	142.46	176.24	89.95
November	120.69	104.87	123.00	168.69	87.06
Desember	118.33	101.13	118.19	161.17	71.04

Hasil perhitungan pada tabel 1 menunjukkan bahwa perhitungan evapotranspirasi dari keempat metode tersebut mempunyai selisih yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan data evapotranspirasi di lapangan. Namun, setelah dilakukan perbandingan selisih menggunakan persamaan (5) antara hasil perhitungan dan hasil pengukuran, perhitungan evapotranspirasi Metode Evaporasi II memiliki akumulasi selisih paling rendah, yaitu sebesar 158.82%.

mengindikasikan bahwa dari seluruh hujan yang jatuh ke DAS Waduk Krenceng, sebanyak 40% air akan masuk ke dalam tanah menjadi infiltrasi.

Angka tersebut berdasarkan pertimbangan bahwa sebagian besar tutupan lahan di DAS Waduk Krenceng merupakan hutan sekunder dan rawa-rawa. Angka koefisien simpanan tanah nilainya berkisar antara 0.6 - 0.8. Semakin besar nilai K, berarti semakin kecil aliran air yang keluar dari tanah. Nilai koefisien

Tabel 2. Rekapitulasi hasil perhitungan error antara hasil perhitungan dan hasil pengukuran

Bulan	Metode	Metode	Metode	Thornthwaite
	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi	
	I	II	III	
	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi	Evapotranspirasi
	Et	Et	Et	Et
	mm/bulan	mm/bulan	mm/bulan	mm/bulan
Januari	24.51	9.80	24.00	43.57
Februari	16.36	0.45	18.69	34.12
Maret	13.31	1.65	15.91	33.11
April	22.84	1.58	27.36	42.66
Mei	23.17	15.66	28.64	49.04
Juni	27.60	19.33	32.12	51.24
Juli	32.63	26.14	38.11	51.22
Agustus	22.00	14.23	28.54	40.71
September	24.05	17.26	31.09	40.64
Oktober	32.96	25.33	36.86	48.96
Nopember	27.87	16.98	29.22	48.39
Desember	39.96	29.75	39.89	55.92
Rata-rata	307.26	178.18	350.42	539.59

tanah yang digunakan pada perhitungan ini yaitu sebesar 0.8. Hal ini berdasarkan tekstur tanah di DAS Waduk Krenceng yang sebagian besar cenderung liat. Luas permukaan terbuka yang digunakan yaitu 50% karena sebagian besar tutupan lahan di DAS Waduk Nadra Krenceng merupakan lahan pertanian. Perhitungan debit andalan F.J Mock dihitung secara per tahun dari tahun 1996 sampai dengan tahun 2011. Hasil perhitungan debit andalan F.J Mock secara keseluruhan tertera pada Tabel 3.

Untuk debit andalan NRECA, selain data evapotranspirasi, diperlukan juga curah hujan bulanan, koefisien P_1 dan P_2 . Koefisien P_1 yaitu persentase kelebihan pengisi lengas tanah. Nilai ini berkisar antara 0.3 – 0.9. Semakin besar nilai P_1 , semakin mudah tanah meluluskan air (Alitu 2007). Nilai P_1 yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0.5 karena tanah di DAS Krenceng cenderung mampu menahan aliran air tanah.

Koefisien P_2 yaitu persentase tampungan air tanah yang menjadi aliran permukaan menuju ke sungai. Nilai ini berkisar antara 0.2 – 0.8. Semakin besar nilai P_2 , semakin mudah tanah meluluskan air (Alitu 2007). Nilai P_2 yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0.4 karena pertimbangan yang sama pada saat memilih nilai koefisien P_1 . Hasil perhitungan debit andalan NRECA secara keseluruhan tertera pada Tabel 4.

Data debit andalan yang sudah didapatkan selanjutnya dikonversi menjadi volume andalan F.J Mock dan volume andalan NRECA. Luas genangan waduk yaitu sebesar 514,000 m³ dan luas genangan infiltrasi sebesar 13,000 m³ karena tidak seluruh dasar Waduk Nadra Krenceng mengalami infiltrasi. Namun, pada penelitian ini, perhitungan infiltrasi diabaikan karena besar infiltrasi di waduk sangat rendah. Dengan menggunakan persamaan (6), diperoleh hasil volume

Tabel 3. Rekapitulasi hasil perhitungan debit andalan F.J Mock dari tahun 1996 sampai tahun 2011

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
1996	1.155	0.485	0.515	0.536	0.204	0.152	0.118	0.108	0.079	0.061	0.051	0.172
1997	0.440	0.412	0.315	0.785	0.161	0.133	0.103	0.083	0.068	0.053	0.044	0.071
1998	0.515	0.476	0.739	0.254	0.287	0.356	0.194	0.110	0.091	0.070	0.312	0.300
1999	0.777	0.610	0.402	0.230	0.347	0.132	0.102	0.082	0.068	0.052	0.261	0.775
2000	1.047	0.901	0.209	0.173	0.438	0.146	0.113	0.090	0.075	0.058	0.048	0.041
2001	1.345	1.002	0.692	0.546	0.479	0.216	0.167	0.134	0.126	0.087	0.180	0.836
2002	1.295	0.799	0.322	0.361	0.187	0.245	0.121	0.096	0.079	0.061	0.282	1.207
2003	0.071	0.427	0.355	0.100	0.077	0.064	0.049	0.040	0.051	0.027	0.459	1.150
2004	1.089	1.037	0.227	0.187	0.145	0.120	0.093	0.074	0.061	0.048	0.150	0.780
2005	0.710	0.825	0.241	0.150	0.347	0.416	0.438	0.137	0.113	0.087	0.072	0.440
2006	0.532	1.038	0.906	0.324	0.190	0.157	0.122	0.097	0.081	0.062	0.052	0.179
2007	0.638	0.582	0.947	0.477	0.516	0.273	0.209	0.134	0.111	0.141	0.083	0.845
2008	1.009	1.553	0.826	0.492	0.290	0.209	0.162	0.130	0.107	0.511	0.972	0.637
2009	0.971	1.221	0.414	0.369	0.429	0.315	0.154	0.123	0.102	0.397	1.372	0.273
2010	1.336	0.949	0.680	0.245	0.463	0.334	0.661	0.401	1.131	0.949	0.772	1.148
2011	0.749	0.531	0.154	0.130	0.095	0.078	0.061	0.049	0.040	0.031	0.026	0.068

waduk dari tahun 1996-2011 yang disajikan dalam Gambar 4.

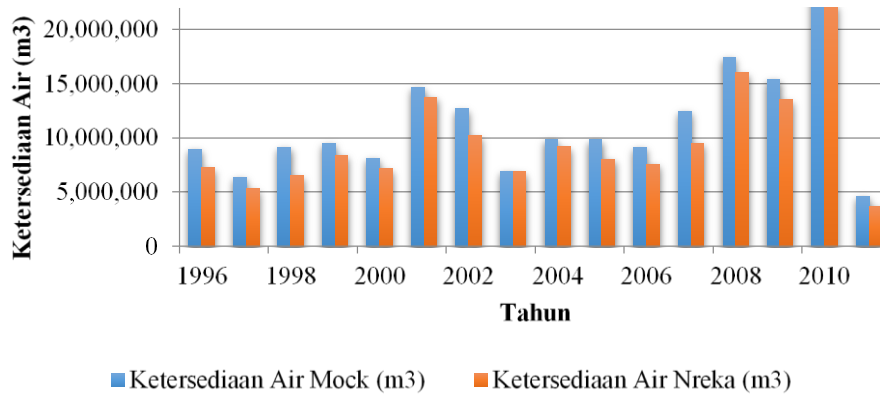
Gambar 4 menunjukkan bahwa ketersediaan air di Waduk Nadra Krenceng berkisar antara 3.6 juta m³ sampai dengan 22.2 juta m³ dengan volume tertinggi terjadi pada tahun 2010 dan volume terendah pada tahun 2011. Hasil tersebut

kemudian dianalisis untuk menentukan keandalan 95%, 90%, 80% dan 50% menggunakan persamaan (7). Hasil dari analisis tersebut ditampilkan dalam Tabel 5.

Hasil perhitungan tersebut kemudian dikalibrasi dengan melihat korelasi antara data aktual debit yang masuk di Waduk

Tabel 4. Rekapitulasi hasil perhitungan debit andalan NRECA dari tahun 1996 sampai tahun 2011

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
1996	1.019	0.492	0.503	0.475	0.145	0.090	0.052	0.031	0.019	0.011	0.007	0.141
1997	0.407	0.362	0.265	0.820	0.171	0.106	0.062	0.037	0.023	0.013	0.008	0.005
1998	0.416	0.422	0.664	0.211	0.168	0.207	0.066	0.039	0.024	0.014	0.217	0.258
1999	0.767	0.651	0.408	0.154	0.280	0.089	0.052	0.031	0.019	0.011	0.206	0.756
2000	1.062	0.958	0.232	0.144	0.346	0.098	0.057	0.034	0.021	0.012	0.008	0.004
2001	1.409	1.122	0.747	0.522	0.413	0.160	0.093	0.056	0.035	0.020	0.072	0.825
2002	1.098	0.823	0.308	0.278	0.114	0.102	0.046	0.028	0.017	0.010	0.173	1.126
2003	0.225	0.520	0.325	0.119	0.069	0.043	0.025	0.015	0.009	0.005	0.334	1.172
2004	1.124	1.106	0.285	0.177	0.103	0.064	0.037	0.022	0.014	0.008	0.040	0.765
2005	0.673	0.804	0.189	0.117	0.237	0.317	0.342	0.094	0.058	0.034	0.021	0.406
2006	0.427	0.982	0.928	0.279	0.149	0.092	0.054	0.032	0.020	0.012	0.007	0.149
2007	0.546	0.474	0.843	0.428	0.422	0.145	0.084	0.050	0.031	0.018	0.011	0.775
2008	1.010	1.588	0.901	0.432	0.205	0.127	0.074	0.044	0.027	0.404	0.934	0.624
2009	1.015	1.283	0.408	0.276	0.304	0.172	0.075	0.045	0.028	0.247	1.336	0.243
2010	1.406	1.087	0.729	0.273	0.379	0.188	0.530	0.296	1.056	0.890	0.703	1.132
2011	0.740	0.551	0.140	0.087	0.050	0.031	0.018	0.011	0.007	0.004	0.002	0.010



Gambar 4. Grafik perbandingan ketersediaan air F.J Mock dan NRECA pada Waduk Krenceng

Nadra Krenceng dengan debit andalan hasil perhitungan. Data debit aktual yang

Tabel 5. Rekapitulasi hasil perhitungan akhir ketersediaan air di Waduk Nadra Krenceng

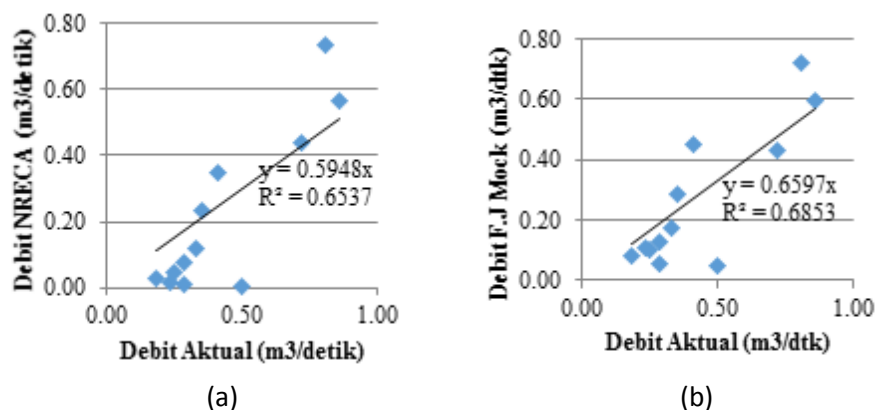
No	Andalan	Ketersediaan	Ketersediaan
		Air Mock (m ³)	Air NRECA (m ³)
1	95%	5,023,095	3,831,718
2	90%	5,753,905	4,531,326
3	80%	7,215,525	5,930,542
4	50%	11,600,385	10,128,191

dimiliki oleh PT. KTI yaitu data debit masuk pada inlet Waduk Nadra Krenceng dari tahun 1980 sampai dengan 1989. Data debit andalan yang digunakan yaitu data debit andalan hasil perhitungan pada tahun

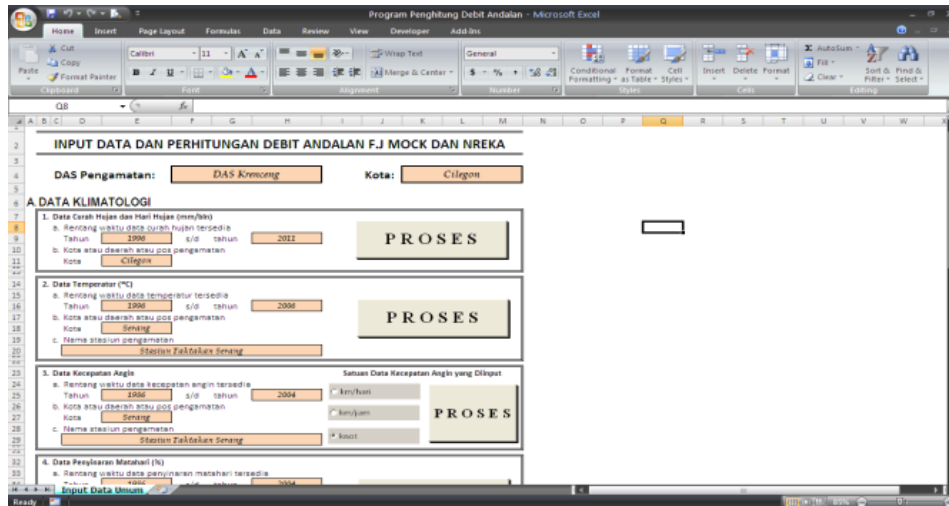
1980. Hasil dari kalibrasi tersebut tertera pada Gambar 5.

Dari gambar 5 tersebut, untuk korelasi antara debit aktual dengan debit andalan F.J Mock menghasilkan angka R^2 sebesar 0.685. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan debit andalan masih cukup mewakili dengan data yang ada di lapangan. Hasil yang sama juga diperoleh untuk korelasi antara debit aktual dengan debit andalan NRECA dengan angka R^2 sebesar 0.653. Berdasarkan hasil tersebut, kedua metode mampu menghitung reliabilitas atau ketersediaan air di Waduk Nadra Krenceng dengan akurasi yang cukup baik.

Setelah semua perhitungan selesai, hasil perhitungan tersebut dibuat dalam bentuk sebuah program penghitung.



Gambar 5. (a) Grafik korelasi antara debit aktual terhadap debit andalan F.J Mock dan (b) korelasi antara debit aktual terhadap debit andalan NRECA



Gambar 6. Visualisasi dari program penghitung reliabilitas

Program penghitung *reliability* dibuat untuk meningkatkan efisiensi di PT. Krakatau Tirta Industri, khususnya efisiensi waktu. Perhitungan reliabilitas membutuhkan waktu yang cukup lama dan memiliki perhitungan yang saling berkaitan sehingga harus dihitung dengan sangat hati-hati. Dengan menggunakan program penghitung berbasis *Visual Basic Application* pada *Microsoft Excel*, perhitungan menjadi lebih singkat dan praktis (Sulianta & Wicaksono 2010). Bentuk dari *Program Penghitung Reliability.xlsm* dapat dilihat pada Gambar 6.

KESIMPULAN

Hasil simulasi debit andalan F.J Mock dengan menggunakan Metode Statistik Weibull untuk keandalan 95%, 90%, 80% dan 50% berturut-turut yaitu sebesar 5,023,095 m³; 5,753,905 m³; 7,215,525 m³; dan 11,600,385 m³. Untuk debit andalan NRECA dengan urutan keandalan yang sama yaitu sebesar 3,831,718 m³; 4,531,326 m³; 5,930,542 m³; dan 10,128,191 m³. Keandalan yang digunakan oleh PT. KTI untuk menjamin ketersediaan air di Waduk Nadra Krenceng yaitu sebesar 80%. Oleh karena itu, volume Waduk Nadra Krenceng yang tersedia pada saat ini yaitu sebesar 7,215,525 m³ untuk metode

F.J Mock dan 5,930,542 m³ untuk metode NRECA. Kedua metode tersebut dapat digunakan untuk menghitung ketersediaan air dengan cukup akurat. Hal tersebut didasarkan pada uji keakuratan kedua metode menghasilkan nilai korelasi R² sebesar 0,685 untuk metode F.J Mock dan 0.683 untuk metode NRECA. Saran untuk penelitian berikutnya yaitu perlu dilakukan kalibrasi debit andalan hasil perhitungan dengan debit aktual yang terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- [Dirjen ESDM]. *Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. 2009. Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi, Buku 2A*. Jakarta: IMIDAP.
- Alitu, Aryati. 2007. Kalibrasi Parameter Model NRECA. *Jurnal Teknik*. 5(2): 172-182
- Nadzar. 2008. Pengalihragamkan Curah Hujan Menjadi Aliran Permukaan. Tidak dipublikasikan
- Rahman, Hafiz. 2008. Evaluasi Tingkat Pertumbuhan Alga Hijau (*Microcystis aeruginosa*) di Waduk Krenceng Pada Proses Pengolahan Air Bersih PT. Krakatau Tirta Industri. [Laporan Kuliah Kerja Praktek]. Serang: STT Banten Jaya.

- Setiawan Hendri, Sidabutar Jahiel R. 2007. Perencanaan Jaringan Irigasi Tambak Memanfaatkan Pasang Surut Air Laut di Kali Tenggang Kecamatan Genuk Kota Semarang. [laporan tugas akhir]. Semarang: Departemen Teknik Sipil Universitas Diponegoro
- Sulianta F, Wicaksono Y. 2010. *Cara Mudah Menjadi Programmer Excel*. Bandung: Elex Media Komputindo
- Susilawati Susi. 2002. Pengelolaan Distribusi Air Untuk Irigasi dan Pemahaman Partisipatif Kondisi Pedesaan (Studi Kasus Daerah Irigasi Tinalun). [laporan penelitian]. Semarang: Departemen Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset
- Ward Andy D, Trimble Staley W. 2004. *Environmental Hydrology, Second Edition*. New York: Lewis Publishers